

2) При использовании цилиндрического сопла (скорость 280 М/с) наблюдается некоторая асимметрия распределения потоков КВС в надфурменном слое (рисунок 3).

3) Сопло Лаваля создает скоростной поток КВС ($330,7 \text{ М/с}$) при тех же характеристиках (расход, давление, температура), что у цилиндрического сопла. Турбулизация слоя отмечается как по высоте (рисунок 8), так и по объему (рисунок 9). Отмечается высокая интенсивность движения среды в средней части расчетного объема.

Получены качественные и в некотором отношении количественные связи турбулентного движения потоков КВС, которые позволяют уточнить условия создания заданного устойчивого окислительного потенциала, высокого уровня тепломассообменных процессов в объеме надфурменного слоя ванны печи.

Список использованных источников

1. Механика жидкостей и газов / Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М. [и др.]: учебное пособие. – М.: Академкнига 2003. – 464 с.
2. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Под ред. А.С. Телегина. – М.: Металлургия, 1993. – 528 с.

УДК 662.76

П. А. Ральников, Н. А. Абаймов, А. Ф. Рыжков

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ПИЛОТНЫХ ПОТОЧНЫХ ГАЗИФИКАТОРОВ

Аннотация

Потребности металлургии в большом количестве электроэнергии целесообразно покрывать современными энергетическими технологиями, одной из которых является газификация твёрдого топлива. В докладе сравниваются аэродинамические особенности работы двух пилотных одноступенчатых кислородных газификаторов под давлением с сухой топливоподачей пылевидного твёрдого топлива. Одна из этих установок разработана концерном Siemens, а вторая НПО ЦКТИ. Численное моделирование работы агрегатов проведено с использованием метода вычислительной гидродинамики CFD. Для сокращения времени расчёта геометрия исследуемых газификаторов была упрощена до сегментов в 5 и 45 градусов, соответственно. Расчётные сетки насчитывали 250 тыс. элементов для установки Siemens и 1.7 млн для ЦКТИ. Сравнение расчётных результатов показало влияние относительных длин камер газификации на расположения аэродинамических структур.

Ключевые слова: газификация, вычислительная гидродинамика, твёрдое топливо, кислородное дутьё, поточный газификатор.

Abstract

Metallurgy need of a large number of electricity is advisable to cover by the modern energy technologies, one of which is the solid fuel gasification. In the report the aerodynamic features of the two pilot single-stage pressurized oxygen-blown dry-feed pulverized solid fuels gasifier are compared. One of these units developed by concern Siemens, and the second - NPO CKTI. Numerical modeling of the units carried out using computational fluid dynamics (CFD) method. Simplified segments gasifiers geometries of 5 and 45 degrees, respectively, are studied to reduce the calculation time. Calculation meshes of 250 thousand elements (Siemens) and 1.7 million (CKTI) are used. Comparison of the calculated results showed the influence of the gasification chamber relative lengths on the aerodynamic structures location.

Keywords: gasification, CFD, solid fuel, oxygen-blowing, entrained-flow gasifier.

1 Введение

Современная металлургия потребляет большое количество электроэнергии, что создаёт необходимость в достаточном количестве высокоэффективных и экологичных энергогенерирующих мощностей. Одной из наиболее перспективных энергетических технологий является парогазовая установка с внутрицикловой газификацией (ПГУ-ВЦГ) угля. Наиболее важный узел данной установки – поточный газификатор, в котором происходит конверсия пылеугольной смеси в горючий синтез-газ. Для создания высокоэффективного поточного газификатора перспективной высокомошной ПГУ-ВЦГ необходимы глубокие экспериментальные и числительные исследования. Многие крупные энергомашиностроительные компании обладают собственными наработками в области поточной газификации. Одним из мировых лидеров в этом сегменте является корпорация Siemens, разработавшая в пилотном и коммерческом вариантах поточный одностадийный кислородный газификатор под давлением с сухой топливopодачей [1]. Исследованием аналогичного газификатора занимаются отечественные энергетики из НПО ЦКТИ на примере собственной пилотной установки [2]. Для сравнения и использования экспериментальных данных, получаемых на вышеперечисленных пилотных газификаторах, следует чётко понимать различия в их работе. Зачастую для полного понимания процессов (например, аэродинамики), происходящих в экспериментальных газификаторах, требуется использовать определённые инструменты моделирования. Среди численных методов моделирования наиболее функциональным считается метод вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics) – CFD.

Цель работы – сравнение аэродинамических особенностей движения газа в пилотных одноступенчатых поточных газификаторах под давлением с сухой топливopодачей с использованием CFD метода.

Для достижения цели необходимо решить ряд задач:

- 1) создать CFD модель, включающую в себя все необходимые подмодели;
- 2) проанализировать работу экспериментальных установок на основе полученных расчётных данных;
- 3) сравнить аэродинамические особенности исследуемых газификаторов.

2 Описание экспериментальных установок

2.1 Газификатор Siemens

Газификатор представляет собой вертикально расположенный сосуд диаметром 0.6 м и высотой 2.8 м, общим объёмом 0.273 м³ (рис. 1а). В верхней половине установки расположена камера газификации, а в нижней – камера охлаждения. На выходе из камеры газификации выполнен конфузopно-диффузорный пережим. В верхнем торце газификатора установлена пылегазовая горелка, обеспечивающая расход твёрдого топлива 300-500 кг/ч. Установленная мощность газификатора – 5МВт. Установка работает под давлением 2 МПа, а в качестве окислителя используется кислород чистотой 75-80%. На стенках газификатора размещаются экраны охлаждения, на которых происходит осаждение шлака в процессе эксплуатации.

2.1 Газификатор НПО ЦКТИ

Газификатор ЦКТИ имеет аналогичную конструкцию, но отличается пропорциями: камера газификации имеет диаметр 0.21 м и высоту 1.6 м (рис. 1б). В нижней части также находится камера охлаждения (секция водяного квенчинга и шлаковая ванна). Части соединены друг с другом водоохлаждаемым кольцом и не имеют пережимов.

Установка предназначена для работы при давлении 0.1-1.6 МПа с расходом угля 5-25 кг/ч и расходом кислорода 2.6-13 нм³/ч. В зависимости от режима работы мощность газификатора варьируется в широком диапазоне 30-160 кВт.

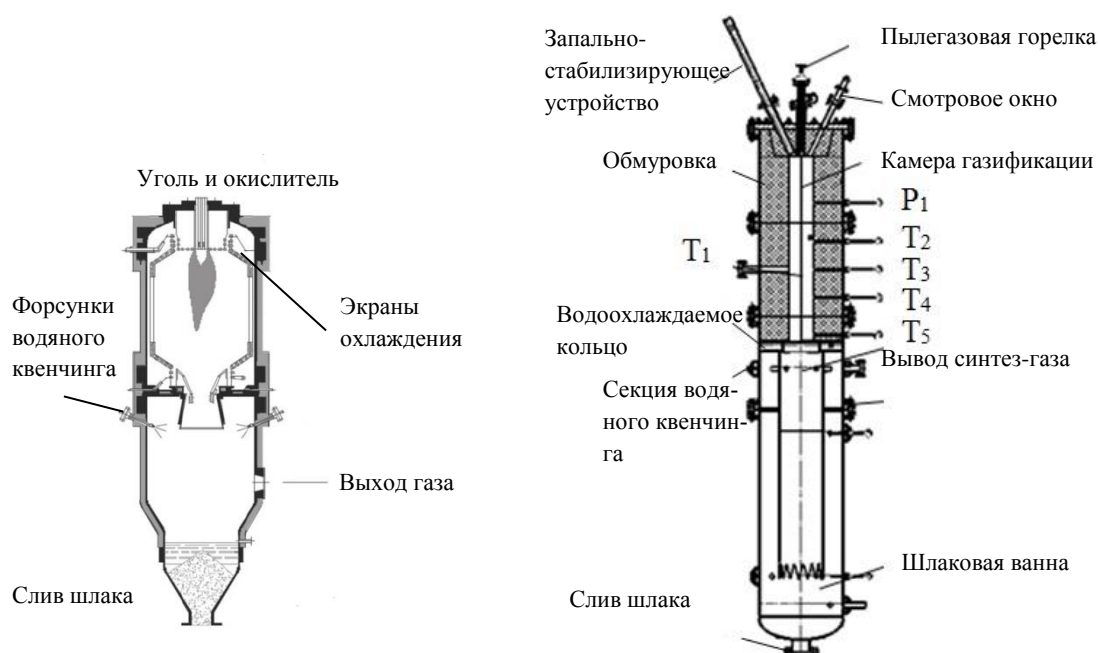


Рис. 1. Пилотные газификаторы: а) Siemens; б) НПО ЦКТИ

3 Процесс моделирования

Для расчета скоростных параметров движения потока внутри газификаторов использовалась модель турбулентности $k-\epsilon$ стандартного вида. Выбор данной модели был обусловлен характером движения рабочей среды. В связи с осесимметричной геометрией газификатора Siemens, его расчётная модель представлялась в виде пятиградусного сегмента. Это позволило оптимизировать вычислительный процесс и сократить время расчёта. Сетка сегмента содержала около 250 тысяч элементов с уплотнением в области перехода из камеры газификации в камеру охлаждения.

Геометрия газификатора ЦКТИ обладает лучевой симметрией (45°) из-за восьми отверстий выхода окислителя в форсунке горелки. Расчётная сетка сегмента в 45° насчитывала 1.7 млн элементов.

4 Результаты исследования

Расчётные результаты для сравнения гидродинамических особенностей работы обеих установок представлены на рисунках 3 и 4.

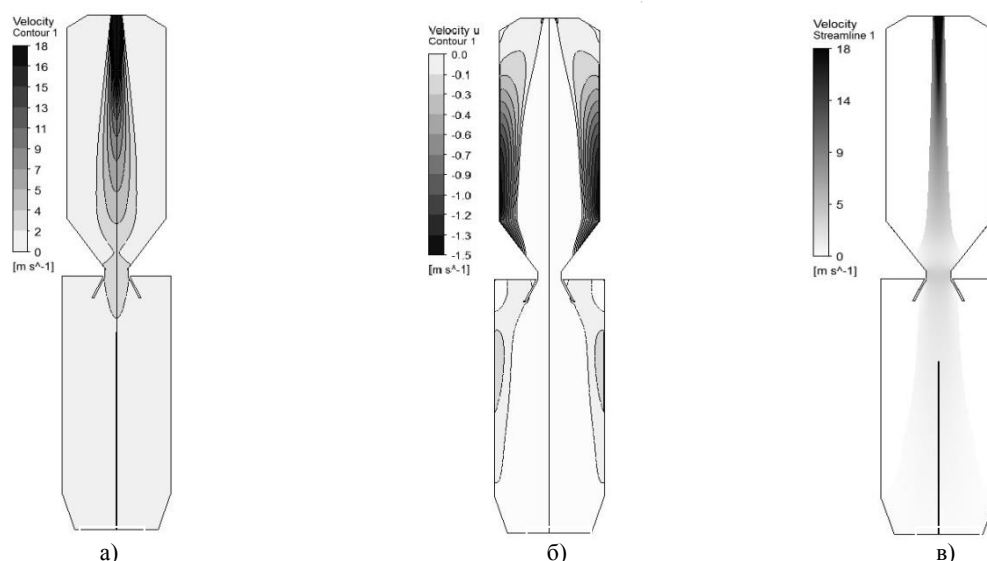


Рис. 2. Результаты моделирования газификатора Siemens:
а) абсолютная скорость; б) скорость возвратных токов; в) линии тока газов

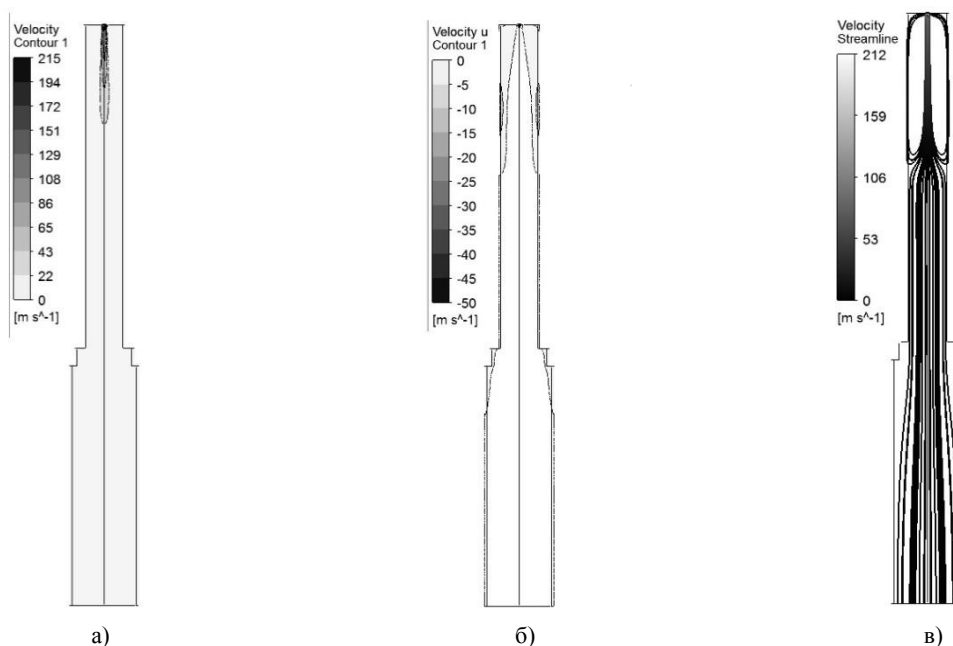


Рис. 3. Результаты моделирования газификатора ЦКТИ:
а) абсолютная скорость; б) скорость возвратных токов; в) линии тока газов

Как видно из рисунка 2а, область высокоскоростного околоосевого течения заканчивается почти на выходе из камеры газификации. На рисунке 3а, который иллюстрирует распределение скоростей в газификаторе ЦКТИ, данная область заканчивается на одной пятой части длины камеры газификации. Тем не менее, в обеих установках эта область имеет длину приблизительно около двух калибров. Большая разница пиковых скоростей установок Siemens и ЦКТИ (18 м/с и 215 м/с соответственно) обуславливается различным способом представления форсунок горелок при моделировании. Точная геометрия горелочного устройства газификатора Siemens в открытой литературе не обнаружена, поэтому форсунка горелки была представлена как круглое отверстие диаметром равным суммарному диаметру всего горелочного устройства. В случае с ЦКТИ геометрия моделируемой форсунки полностью соответствовала геометрии реального прототипа, то есть отверстия для кислорода имели диаметр много меньший диаметра горелки.

Распределение обратных токов в данных установках (рис. 2б и 3б) эквивалентно областям с максимальной скоростью, то есть в газификаторе Siemens они распределены по всей высоте камеры газификации, а в ЦКТИ только по третьей части длины. Так же стоит обратить внимание на наличие зон обратных токов в камере охлаждения газификатора Siemens, в котором обратные течения развиты в связи с наличием пережима между камерами газификации и охлаждения. В камере охлаждения ЦКТИ обратные токи расположены только в местах внезапных расширений. Пики обратных токов газификатора Siemens совпадают с местом расположения форсунок водяного квенчинга, что интенсифицирует перемешивание газа с водой и, следовательно, его охлаждение.

На рисунках 2в и 3в изображены линии тока газовой фазы. В случае с зарубежной установкой наблюдается равномерное падение скорости от входа в камеру газификации до выхода из камеры охлаждения. В отечественном газификаторе имеется резкое падение скорости от максимальных значений (212 м/с) до умеренных величин. Разница в степенях падения скорости обусловлена вышеописанными причинами (различиями модельной реализации форсунок горелок).

5 Заключение

Пилотные газификаторы Siemens и ЦКТИ объединяет общий принцип работы: газификация пылеугольного топлива в потоке окислителя (кислорода) под давлением в одноступенчатом реакторе. Тем не менее, имеются определённые геометрические различия: 1) большая относительная длина установки ЦКТИ (как камеры газификации, так и камеры

охлаждения), 2) отсутствие пережима между камерами в установке ЦКТИ.

На основе сравнения расчетной гидродинамики данных установок можно выделить основные различия их в работе, которыми являются относительные длины областей обратных токов, а также характер возвратных течений в камерах охлаждения. Основные параметры работы совпадают, что говорит о возможности проведения сравнительного анализа экспериментальных данных по газификации углей в этих установках. В дальнейшем запланировано моделирование работы установок с учётом процесса газификации твёрдого топлива.

Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524).

Список использованных источников

1. San Shwe Hla, Daniel G. Roberts, David J. Harris. A numerical model for understanding the behaviour of coals in an entrained-flow gasifier // Fuel Processing Technology. 2015. № 134. С. 424–440.
2. Абаимов Н.А., Шурчалин А.А., Шестаков Н.С., Осипов П.В., Рыжков А.Ф. Экспериментальное и численное исследование поточной газификации угля при повышенном давлении и различных составах дутья // Материалы IX Всероссийской конференции с международным участием Горение топлива: теория, эксперимент, приложения (16–18 ноября 2015 г.) / Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск. 2015. Электронное издание.

УДК 662.76

Г. С. Сборщиков, А. Ю. Терехова

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС»,
г. Москва, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И РЕЖИМА РАБОТЫ ПЕЧИ С БАРБОТАЖНЫМ СЛОЕМ

Аннотация

Печи с барботажным слоем являются наиболее перспективными и универсальными плавильными агрегатами будущего. Для достижения высоких показателей работы печи рассматриваемого типа необходимо в максимальной степени интенсифицировать перемешивание ванны и обеспечить предельно возможную межфазную поверхность массообмена.

Ключевые слова: печь с барботажным слоем, перемешивание, массообмен.

Abstract

A Furnace with bubbling layer are the most promising and versatile melting furnaces of the future. To achieve high performance furnace of this type needs to the maximum extent to intensify the mixing of the bath and to ensure the maximum possible interfacial surface mass transfer.

Keywords: furnace with bubbling layer, mixing, mass transfer.

В современной металлургии большинство из действующих плавильных агрегатов морально устарели. В связи с этим, во всем мире ведутся работы по разработке плавильных печей нового поколения. Одной из таких печей, разработанной у нас в стране, является печь с барботажным слоем. С точки зрения теплофизики эти печи обладают свойствами, которые делают их наиболее перспективными и универсальными плавильными агрегатами будущего.

Печи с барботажным слоем обладают следующими важными достоинствами:

1. Предельные значения объемной тепловой нагрузки и объемной концентрации целевого компонента в зоне технологического процесса – это главное достоинство печей с барбо-